

**STUDIEN ZUM BEDARF DER REGENBOGENFORELLE
(SALMO GAIRDNERI RICHARDSON)
AN DEN AMINOSÄUREN LYSIN, ARGININ,
TRYPTOPHAN, METHIONIN UND CYSTEIN**

Sabine Langbein

Disbui. München

1987



Aus dem Institut für
Physiologie, Physiologische Chemie und Ernährungsphysiologie
der Tierärztlichen Fakultät der Universität München
Geschäftsführender Vorstand: Prof. Dr. H. Zucker

Angefertigt unter der Leitung von
Prof. Dr. J. Gropp

STUDIEN ZUM BEDARF
DER REGENBOGENFORELLE (SALMO GAIRDNERI RICHARDSON)
AN DEN AMINOSÄUREN
LYSIN, ARGININ, TRYPTOPHAN, METHIONIN UND CYSTEIN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
SABINE LANGBEIN
aus
München

München 1987

**Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München**

Dekan: Prof.Dr.H.Zucker

Referent: Prof.Dr.J.Gropp

Korreferent: Prof.Dr.Dr.habil.R.Hoffmann

Tag der Promotion: 24. Juli 1987

INHALTSVERZEICHNIS

Seite 1 bis 100

1.	Einleitung	1
2.	1.1.1. Zielsetzung	2
2.1.	1.1.2. Beschreibung des Projekts	3
2.2.	1.1.3. Zielsetzung des Projekts	4
2.3.	1.1.4. Beschreibung der Aufgaben	5
2.4.	1.1.5. Beschreibung der Aufgaben	6
2.5.	1.1.6. Beschreibung der Aufgaben	7
2.6.	1.1.7. Beschreibung der Aufgaben	8
2.7.	1.1.8. Beschreibung der Aufgaben	9
2.8.	1.1.9. Beschreibung der Aufgaben	10

Meinen Eltern in Dankbarkeit

3.1.	3.1.1. Zielsetzung	11
3.2.	3.1.2. Beschreibung des Projekts	12
3.3.	3.1.3. Zielsetzung des Projekts	13
3.4.	3.1.4. Beschreibung der Aufgaben	14
3.5.	3.1.5. Beschreibung der Aufgaben	15
3.6.	3.1.6. Beschreibung der Aufgaben	16
3.7.	3.1.7. Beschreibung der Aufgaben	17
3.8.	3.1.8. Beschreibung der Aufgaben	18
3.9.	3.1.9. Beschreibung der Aufgaben	19
3.10.	3.1.10. Beschreibung der Aufgaben	20
3.11.	3.1.11. Beschreibung der Aufgaben	21
3.12.	3.1.12. Beschreibung der Aufgaben	22
3.13.	3.1.13. Beschreibung der Aufgaben	23
3.14.	3.1.14. Beschreibung der Aufgaben	24
3.15.	3.1.15. Beschreibung der Aufgaben	25
3.16.	3.1.16. Beschreibung der Aufgaben	26
3.17.	3.1.17. Beschreibung der Aufgaben	27
3.18.	3.1.18. Beschreibung der Aufgaben	28
3.19.	3.1.19. Beschreibung der Aufgaben	29
3.20.	3.1.20. Beschreibung der Aufgaben	30

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung	1
2. Literatur	3
2.1. Grundlagen der Proteinfütterung	3
2.2. Rohproteinbedarf von Forellen	6
2.3. Essentielle Aminosäuren	8
2.4. Quantitativer Aminosäurenbedarf bei Salmoniden	10
2.4.1. Bedarf an Methionin und Cystin	14
3. Eigene Untersuchungen	16
3.1. Material und Methoden	17
3.1.1. Versuchsplan	17
3.1.1.1. Versuch I	17
3.1.1.2. Versuch II	18
3.1.2. Tiermaterial	19
3.1.3. Haltung	20
3.1.4. Futter und Fütterung	22
3.1.4.1. Futterzusammensetzung	22
3.1.4.2. Fütterung	27
3.1.4.2.1. Versuch I	27
3.1.4.2.2. Versuch II	29
3.1.5. Versuchsdurchführung	31
3.1.5.1. Versuch I	31
3.1.5.2. Versuch IIa	32
3.1.5.3. Versuch IIb	33

	Seite
3.1.6. Versuchsauswertung	34
3.1.6.1. Parameter	36
3.2. Ergebnisse	38
3.2.1. Versuch I	38
3.2.2. Versuch IIa	44
3.2.3. Versuch IIb	48
4. Diskussion	54
4.1. Vergleiche mit vorangegangenen Untersuchungen über den Lysin-, Arginin- und Tryptophanbedarf	54
4.1.1. Schätzung des Lysinbedarfs	54
4.1.2. Schätzung des Argininbedarfs	55
4.1.3. Schätzung des Tryptophanbedarfs	56
4.2. Untersuchungen des Schwefelaminosäurenbedarfs	56
5. Zusammenfassung	60
5.1. Summary	61
6. Literaturverzeichnis	63
Danksagung	
Lebenslauf	

Abkürzungen:

Alpha/ α	Wachstumsrate
AS	Aminosäure
EW	Endwiegung
FVW	Futtermittelverwertung
FVZ	Futtermittelverzehr
LM	Lebendmasse
LMZ	Lebendmassezunahme
R	Spannweite, $x_{max} - x_{min}$
RP	Rohprotein, $N \times 6.25$
T	Trockensubstanz
VB	Versuchsbeginn
VE	Versuchsende
W	Wiegetag

1. EINLEITUNG

Um optimale Bedingungen für die Forellenhaltung zu erzielen, ist neben der Wasserqualität, der Wassertemperatur und der Besatzdichte gerade die Fütterung als entscheidender Faktor zu nennen. Schließlich beeinflusst das Futter sowohl Gesundheit und Wachstum der Fische, als auch ihre Ausscheidungen und so indirekt ihre Umwelt. Die Zusammensetzung des Futters muß also bestimmt werden durch den Bedarf des Fisches, Anforderungen der Umwelt und durch die Wirtschaftlichkeit.

Entscheidenden Einfluß auf die Qualität eines Fischfutters hat unter anderem das in ihm enthaltene Protein, und zwar sowohl sein prozentualer Anteil als auch seine Aminosäurezusammensetzung. Die Proteinversorgung muß hoch genug sein, um den Bedarf der Tiere für Erhaltung und Wachstum zu decken, sie darf aber nicht zu hoch sein, da nicht angesetztes Protein als Ammoniak ausgeschieden wird, so die aquatische Umwelt belastet und dadurch die Besatzdichte limitiert.

Systematische Untersuchungen zum Aminosäuren-Bedarf von Regenbogenforellen, wie sie vergleichsweise HALVER (z.B. 1957, 1970a/b) mit einer Methode an Königslachsen durchgeführt hatte, liegen bisher nicht vor. Am Institut für Physiologie, Physiologische Chemie und Ernährungsphysiologie wurde eine synthetische Diät für Forellen entwickelt (REITER, 1984), mit deren Hilfe dann erste Studien zum Aminosäuren-Bedarf von Regenbogenforellen vorgenommen wurden (Lysin: STRAUSS, 1982; Arginin und Tryptophan: FRANK, 1984).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zunächst die Schlußfolgerungen von STRAUSS und FRANK experimentell zu überprüfen, sowie erste Bedarfsschätzungen für die Schwefelaminosäuren Methionin und Cystein zu erarbeiten.

2. LITERATUR

2.1. GRUNDLAGEN DER PROTEINFÜTTERUNG

Betrachtet man die Zusammensetzung der natürlichen Nahrung von Forellen, so ist besonders auffällig der hohe Proteingehalt von etwa 60 %. Von diesem Angebot werden von wachsenden Forellen nur etwa 20 bis 45 % als körpereigenes Protein angesetzt.

Um daraus Rückschlüsse auf den Bedarf an Aminosäuren der Forelle ziehen zu können, untersuchten ALBRECHT und WUNSCH 1972 den Gehalt an essentiellen Aminosäuren im Nahrungsangebot aus niederen Wassertieren eines Forellenbaches.

Vergleicht man die angegebenen Daten mit Werten bisher an Forellen durchgeführter Bedarfsermittlungen, oder Bedarfsangaben anderer Fischarten, so zeigt sich, daß das natürliche Aminosäureangebot den Bedarf zum Teil deutlich übersteigt.



Tabelle 1. AMINOSÄURENGEHALT IM NAHRUNGSANGEBOT EINES
FORELLENBACHES UND "BEDARFSWERTE"
(ALBRECHT und WÜNSCHE, 1972; GROPP, 1982)

Aminosäure	Naturnahrung		Bedarf
	% der T	% vom RP	% vom RP
Arginin	3.14	5.8	6.0
Histidin	1.24	2.3	1.7
Isoleucin	2.48	4.6	2.5
Leucin	3.74	6.9	3.9
Lysin	3.14	5.7	5.0
Methionin	1.03	1.9	1.5 ¹⁾
Cystein	0.76	1.4	-
Phenylalanin	2.38	4.4	5.1 ²⁾
Tyrosin	2.06	3.8	-
Threonin	2.48	4.6	2.25
Tryptophan	0.60	1.1	0.5
Valin	2.86	5.3	3.2

¹⁾ bei 1.8 % Cystein

²⁾ Phenylalanin + Tyrosin 6 - 7 %

Eine große Rolle für den Stoffwechsel der Fische spielt auch die Wassertemperatur, da ihre Körpertemperatur direkt davon abhängt. Schon 1939 zeigte PENTALOW, daß die Futteraufnahme und Wachstumsrate junger Brook-Lachse (*S. trutta*) mit steigender Temperatur bis 15.6°C anstieg, darüberhinaus aber wieder abfiel. BALDWIN bestätigte 1957 diese Untersuchungen, fand aber das Maximum bei 13.3°C. 1981 ermittelte SCHWARZBACH optimale Wachstumsraten von Forellen bei 15.1°C. Bei einer Temperatursteigerung auf 19.1°C fiel die spezifische Wachstumsrate wieder unter Werte, die bei 10.5°C ermittelt wurden.

Mit der Wassertemperatur ändert sich offensichtlich auch der Proteinbedarf. In Untersuchungen am Königs-Lachs (*Oncorhynchus tshawytscha*) stieg er von 40 auf 55 % bei einer Anhebung der Wassertemperatur von 8.3°C auf 14.4°C (DE LONG et al., 1958).

Auch die Verdaubarkeit von Nährstoffen steigt mit der Wassertemperatur (SCHWALB-BÜHLING, 1982). Am auffälligsten war der Anstieg der Verdaubarkeit bei einer Temperaturerhöhung von 9 auf 15°C. Eine weitere Steigerung der Wassertemperatur bewirkte kaum noch eine Änderung.

Weiter beeinflusst die Fütterungshäufigkeit Nahrungsaufnahme und Wachstum von Fischen.

An Versuchen mit Regenbogenforellen, zeigten GRAYTON und BEAMISH (1977), daß eine maximale Futteraufnahme mit bereits 2 Fütterungen pro Tag zu erreichen ist.

In diesem Zusammenhang ist auch zu erwähnen, daß mit steigender Futterzufuhr die Verdaulichkeit der Futtertrockensubstanz abnimmt (SCHWARZBACH, 1981).

2.2. ROHPROTEINBEDARF VON FORELLEN

Die Kenntnis des Rohproteinbedarfs von Fischen ist für die Aquakultur, unter der alle Techniken der Kultivierung und Vermehrung nützlicher Wasserorganismen zusammengefaßt sind (MESKE, 1973), von besonderer Bedeutung, denn nicht angesetzter Protein-Stickstoff wird als Ammoniak ausgeschieden und belastet so das umgebende Wasser.

Um den Proteinbedarf von Salmoniden zu bestimmen, fütterten DE LONG et al. (1958) Königs-Lachse mit einer Diät aus Casein und Gelatine bei Aminosäurezusatz in Anlehnung an das Aminosäuremuster von Ganzeiweiß. Wie bereits erwähnt, ermittelten die Autoren einen Bedarf an Rohprotein von 40 bzw. 55 % (Wassertemperatur 8.3 bzw. 14.4°C).

Bei Regenbogenforellen und Sockeye-Lachsen fanden HALVER et al. (1964) einen Rohproteinbedarf von über 50 % für Brütlinge in den ersten Wachstumswochen, abnehmend auf 40 % bis zur achten Woche (Wassertemperatur 10°C).

SATIA bestätigte später (1974) diese Ergebnisse an Regenbogenforellen.

Für die Fütterung von Forellensetzlingen geben TIEWS et al. (1972) einen "Bedarf" von mindestens 40 % Rohprotein an.

Um die relativ hohen Rohprotein-Bedarfszahlen von Fischen, welche vergleichbare Daten homöothermer Nutztiere um den Faktor 2 bis 3 überschreiten, zu erklären, wurden einige Kriterien untersucht.

SCHWALB-BUHLING führte 1982 mögliche, durch Schleimbildung verursachte Proteinverluste über die Haut als einen weiteren bedarferhöhenden Faktor an. Diese Überlegungen konnten aber in späteren Untersuchungen von BLACK (1986) nicht bestätigt werden. SCHWALB-BUHLING stellte auch Untersuchungen über den Protein-Erhaltungsbedarf an. Sie ermittelte einen Hungerverlust von 566 mg Protein pro kg Forelle und Tag. Dieser Wert stimmt brauchbar mit dem von PFEFFER und POTTHAST 1977 angegebenen Nettobedarf von 580 mg Protein pro kg Forelle und Tag überein.

Für eine teilweise Nutzung des Proteinangebots zur Energiegewinnung spricht der relativ niedrige Quotient Proteinansatz zu Proteinzufuhr, der meist nur 20 bis 30 % gegenüber 40 und mehr Prozent bei landwirtschaftlichen Nutztieren ausmacht (GROPP, 1986).

Der proteinsparende Effekt von Futterfetten wurde bereits früher von einer Reihe von Autoren erwähnt, so z.B. von LEE und PUTNAM, (1973); HIGUERA et al., (1977) und REINITZ et al., (1978). TAKEUCHI et al. ermittelten (1978) für Regenbogenforellen ein optimales Futterverhältnis von 35 % Rohprotein zu 15 bis 20 % Fett.

Dies stand im Gegensatz zu den maximalen Werten bei 17 oder 25 % Protein und 15 % Fett, die WATANABE (1977) ermittelt hatte. REINITZ und HITZEL berichteten 1980 über maximale Versuchswerte bei 26 % Protein und 11 bis 17 % Fett. 1982 schlossen GROPP et al. aus ihren Versuchsergebnissen, daß mit 5 % Fettzulage etwa 2.5 % Rationsprotein eingespart werden können.

Der proteineinsparende Effekt von Futterfetten kann jedoch in der Praxis nicht beliebig ausgenutzt werden, da mit steigendem Fettgehalt des Futters auch eine zunehmende Verfettung des Tierkörpers einhergeht, die sich vor allem im Eingeweidefett bemerkbar macht und somit dem eßbaren Teil auch nicht zugute kommt (TIEWS et al., 1973).

2.3. ESSENTIELLE AMINOSÄUREN

ROSE stellte 1931 erstmals zusammenfassend eine Liste von 10 Aminosäuren auf, die bei warmblütigen Tieren als essentiell galten (siehe Tabelle 2).

Dieselben Aminosäuren definierten 1957 HALVER et al. als essentiell auch für Fische. Sie modifizierten die Testdiäten, die von ROSE und seinen Mitarbeitern entwickelt worden waren, indem sie z.B. ausschließlich L-Aminosäuren verwendeten und den Rohproteingehalt drastisch erhöhten. Aus Wachstumsunterschieden nach Zusatz oder Weglassen einzelner Aminosäuren kann auf deren Essentialität geschlossen werden.

Tabelle 2. ESSENTIALITÄT DER AMINOSÄUREN
(ROSE, 1931)

essentielle AS

nicht essentielle AS

Lysin

Glycin

Tryptophan

Alanin

Histidin

Serin

Phenylalanin

Norleucin

Leucin

Asparaginsäure

Isoleucin

Glutaminsäure

Threonin

Hydroxyglutaminsäure

Methionin

Prolin

Valin

Hydroxyprolin

Arginin¹⁾

Citrullin

Tyrosin

Cystin

¹⁾ semiessentiell

Die Ergebnisse von HALVER et al. wurden 1970 von COWEY et al. mit einer modernen Untersuchungsmethode an Schollen und Seezungen bestätigt. ^{14}C -Glukose wurde intraperitoneal injiziert. Nach einigen Tagen wurden die Tiere getötet und Gewebsprotein isoliert. Aminosäuren, die radioaktives Material enthielten, waren offensichtlich vom Fisch selbst synthetisiert worden und damit nicht essentiell. Im Gegensatz dazu konnten die Aminosäuren, die kein radioaktives Material enthielten, nicht vom Fisch selbst synthetisiert worden sein; sie waren damit essentiell.

2.4. QUANTITATIVER AMINOSÄURENBEDARF BEI SALMONIDEN

Um den Bedarf der Fische an bestimmten Nahrungskomponenten genauer einzugrenzen, bieten sich Fütterungsversuche mit gereinigten oder synthetischen Diäten als einfachste Methode an. Unter "gereinigten Diäten" sind Diäten zu verstehen, die mehrheitlich auf reinen Nährstoffträgern aufbauen (z.B. Casein-Gelatine-Stärke-Diät). Als "synthetisch" wird eine Diät bezeichnet, wenn ein komplexer Nährstoff der Ration (z.B. Casein) durch eine Mischung seiner monomeren Bausteine (hier: synthetische Aminosäuren) ersetzt wird.

Wie bereits erwähnt, benutzten HALVER et al. 1957 eine synthetische Diät, um die Essentialität von Aminosäuren nachzuweisen. Noch im gleichen Jahr begannen HALVER und Mitarbeiter den quantitativen Aminosäurebedarf des Königs-Lachses zu untersuchen.

Viele entsprechende Untersuchungen folgten und schließlich veröffentlichte HALVER 1970 eine Zusammenfassung seiner Ergebnisse.

Tabelle 3. AMINOSÄURENBEDARF DES KÖNIGS-LACHSES
(nach HALVER, 1970b)

Aminosäure	% der Trockensubstanz
------------	-----------------------

Arginin	2.5
Histidin	0.7
Isoleucin	1.0
Leucin	1.5
Lysin	2.1
Methionin ¹⁾	0.5
Phenylalanin ²⁾	2.0
Threonin	0.8
Tryptophan	0.2
Valin	1.5

¹⁾ bei 1 % der Trockensubstanz Cystin

²⁾ etwa 1/3 kann durch Tyrosin eingespart werden

Eine Aufstellung der Untersuchungsergebnisse verschiedener Autoren, zeigt die nachfolgende Tabelle.

Tabelle 4. AMINOSÄURENBEDARF DES KÖNIGS-LACHSES
(Zusammenstellung von MERTZ, 1972)

Aminosäure	% vom Rohprotein
Threonin	2.25
Lysin	5.0
Methionin	1.5 (bei adäquatem Cystinzusatz)
Leucin	3.9
Isoleucin	2.5
Valin	3.2
Phenylalanin	
+ Tyrosin	5.1
Tryptophan	0.5
Arginin	6.0
Histidin	1.7

GROPP et al. (1979) schlossen aus ihren Untersuchungen zur Verwendbarkeit verschiedener Proteinquellen, daß einige der Bedarfszahlen zu hoch angesetzt sein dürften. Dies wurde durch die Ermittlungen von STRAUSS (1982) und FRANK (1984) für Lysin und für Arginin bestätigt.

Als Alternative zu den Untersuchungen mit gereinigten bzw. synthetischen Diäten, versuchte OGINO 1980 den Aminosäurebedarf der Regenbogenforelle zu ermitteln, indem er tägliche Veränderungen im Gehalt an essentielle Aminosäuren des Fischkörpers bestimmte.

Die ermittelten Werte weichen von den Angaben von MERTZ ab und sind aus Tabelle 5 ersichtlich.

Tabelle 5. AMINOSÄURENBEDARF DER REGENBOGENFORELLE
(OGINO, 1980)

Aminosäure	% vom Rohprotein
Threonin	3.4
Lysin	5.3
Methionin	1.8
Leucin	4.4
Isoleucin	2.4
Valin	3.1
Phenylalanin	3.1
Tyrosin	2.1
Arginin	3.5
Histidin	1.6

OGINO berechnete den Bedarf an essentiellen Aminosäuren pro 100 g Körpergewicht entsprechend der täglich gemessenen Zunahme des essentiellen Aminosäuregehalts pro 100 g Körpergewicht.

Eine Bestimmung der freien Aminosäuren im Blutplasma führte erstmals CHANCE (1962) durch. Er stellte eine Abhängigkeit des Gehalts von der Fischgröße fest.

Daß die freien Aminosäuren im Blutplasma auch über einige Zeit des Hungerns konstant gehalten werden können, zeigten 1977 KAUSCHIK und LUQUET.

1979 benutzte schließlich KAUSCHIK die Bestimmung der freien Aminosäuren zur Bedarfsermittlung von Arginin, indem er den Bedarf bei einem Futtergehalt vermutete, dessen Überschreitung einen Anstieg der freien Aminosäuren im Blutplasma verursachte. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß das Maximum der Aminosäuren-Konzentration bei 24 h nach der Fütterung zu liegen scheint (SCHLISIO und NICOLAI, 1977).

2.4.1. BEDARF AN METHIONIN UND CYSTIN

Bedarfsangaben über Schwefelaminosäuren basieren auf den Untersuchungen von HALVER et al. (1959) an Königs-Lachsen. Die Autoren ermittelten einen Bedarf an Gesamt-Schwefelaminosäuren von 1.6 % des Futters, bestehend aus 0.5 bis 0.6 % Methionin und 1 % Cystin in einer Diät mit 40 % Rohprotein. Das entspricht einem Gehalt von 1.25 bis 1.5 % Methionin und 2.5 % Cystin vom Rohprotein.

OGINO (1980) gibt den Bedarf der Regenbogenforelle mit 0.72 % Methionin und 0.36 % Cystin in der Futtertrockensubstanz an, bei einem Rohproteingehalt von 40 % des Futters, entsprechend 1.8 und 0.9 % vom Rohprotein.

RUMSEY et al. arbeiteten 1983 mit einer Futtermischung für Regenbogenforellen, die 35 % Rohprotein enthielt, und ermittelten ein optimales Wachstum bei 0.55 bis 0.75 % der Trockensubstanz Methionin (1.6 bis 2.1 % vom RP) und ca. 0.3 % Cystin (0.86 % vom RP). Damit lag der Bedarf an Gesamt-Schwefelaminosäuren bei 0.85 bis 1.05 % der Trockensubstanz (2.5 bis 3.0 % vom RP). Diese Werte stimmen mit den Ergebnissen von OGINO gut überein.

In Bezug auf eventuelle Interaktionen zwischen Methionin und Cystin stellten RUMSEY und seine Mitarbeiter fest, daß zwar bei genügend hohen Gehalten von Methionin kein Cystin im Futter nötig war, daß aber Cystin nicht in der Lage war, Methionin zu ersetzen. Die Autoren wiesen darauf hin, daß es erst dann zur Umwandlung von Methionin zu Cystin kommt, wenn der grundsätzliche Bedarf an Methionin überschritten wird.

3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN.

Unter den Bedingungen der Aquarienhaltung und unter Verwendung gereinigter Diäten mit kristallinen Aminosäuren als einziger Proteinquelle, haben STRAUSS (1982) und FRANK (1984) für die Aminosäuren Lysin, Tryptophan und Arginin erste Bedarfswerte ermittelt. Diese Untersuchungen galten jeweils einer einzigen Aminosäure. Die hier erhaltenen Ergebnisse und Schlußfolgerungen sollten jetzt daraufhin überprüft werden, ob sie für den kombinierten Einsatz der 3 Aminosäuren in der jeweils als optimal geltenden Konzentration noch gültig sind.

In einem zweiten Versuch sollten Anhaltswerte für den Schwefelaminosäurenbedarf gewonnen werden. Dabei war es auch von Interesse, zu prüfen, inwieweit Cystein durch Methionin ersetzt werden kann.

Zur Bewertung der Ergebnisse wurden hauptsächlich die Kriterien Wachstum, Futterverwertung und Mortalität herangezogen.

3.1 MATERIAL UND METHODEN

3.1.1. VERSUCHSPLAN

3.1.1.1. Versuch I

Mit Hilfe von 10 synthetischen Rationen sollte einerseits der Bedarf an Lysin, Arginin und Tryptophan eingegrenzt und andererseits ein eventueller Einfluß dieser Aminosäuren auf Leberveränderungen überprüft werden. Der Rohproteingehalt der Futterrationen lag zwischen 23.6 und 25.5 %.

Tabelle 6. VERSUCHSANLAGE - VERSUCH I

Code	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
RP-gesamt	23.6	23.6	25.5	24.7	25.2	24.7	24.6	24.1	24.1	24.1
Arg% v.RP	2.2	2.2	6.1	6.3	8.2	6.3	6.3	4.3	4.3	4.3
Lys% v.RP	4.6	4.6	4.3	4.4	1.4	1.5	4.4	4.5	4.5	4.5
Try% v.RP	0.6	1.1	0.5	1.1	1.0	1.1	0.8	1.1	0.8	0.5

3.1.1.2. Versuch II

Hier wurden 10 synthetische Rationen eingesetzt, um den Bedarf an Methionin und Cystein genauer einzugrenzen, eine eventuelle gegenseitige Beeinflussung der beiden Aminosäuren nachzuprüfen und um den günstigsten Futteranteil dieser beiden Aminosäuren zusammen zu ermitteln.

Versuch II war gegliedert in Versuch IIa (8 Wochen) und Versuch IIb (12 Wochen).

Tabelle 7. VERSUCHSANLAGE - VERSUCH II

Code	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
RP-gesamt	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Met% v.RP	3.1	4.3	3.3	2.2	1.1	-	2.5	0.8	4.1	
Cys% v.RP	1.8	-	1.6	3.2	4.8	6.3	1.2	3.6	2.0	
% v.RP aus										
gesamt S-AS	4.9	4.3	4.9	5.4	5.9	6.3	3.7	4.2	6.1	

3.1.2. TIERMATERIAL

Für Versuch I wurden am 1.3.1984 821 Regenbogenforellen vom Fischgesundheitsdienst in Grub bei München zur Anlage am Oberwiesenfeld gebracht. Dort wurden 800 Tiere gewogen und gleichmäßig auf 20 Aquarien verteilt. Das durchschnittliche Einzelfischgewicht betrug an diesem Tag 13.1 g.

Am 22.6.1984 wurden für Versuch IIa 900 Regenbogenforellen aus der eigenen Nachzucht des Instituts von den Brutrinnen in 20 Becken der Glasaquarienanlage versetzt, wobei das durchschnittliche Einzelfischgewicht an diesem Tag 3.0 g betrug. Wiederum aus Grub stammten die 257 Tiere für Versuch IIb, die am 16.1.1985 auf 20 Becken der Glasaquarienanlage verteilt wurden. Die Fische waren durchschnittlich 19.4 g schwer.

3.1.3. HALTUNG

In Versuch I wurden 800 Fische zu je 20 Tieren in 40 Glas-aquarien gehalten, wobei sich die Anlage aus 2 mal 2 übereinander angebrachten Reihen von jeweils 10 Becken zusammensetzte. Für Versuch II wurden 20 Aquarien dieser Anlage mit 900 (Versuch IIa) bzw. 257 (Versuch IIb) Fischen besetzt. Das Volumen jedes Beckens betrug 50 l, das Wasserfüllungsvolumen 43 l, die Außenmaße 50 x 25 x 40 cm. Jedes Becken besaß einen durchsichtigen Kunststoffdeckel, durch den sowohl ein Plastikschlauch für die Frischwasserzufuhr, als auch ein dünnerer Gummischlauch für die Luftzufuhr geführt wurden. Die Wasser-schläuche waren angeschlossen an die Wasserleitungsrohre und konnten mittels Schlauchklemmen reguliert werden. Gespeist wurde die Anlage aus einem Frischwasserbehälter mit Heizmöglich-keit; so konnte in Versuch I die Wassertemperatur mit Hilfe eines Thermostaten konstant auf 14 °C eingestellt werden. Durch das Belüftungssystem, das durch 4 elektrische Luftpumpen betrieben wurde war jedes Aquarium zusätzlich zur Sauerstoffzufuhr über das Frischwasser mit Luft versorgt. An den Schlauchenden war in jedem Becken ein Sprudelsteinchen befestigt.

Die Becken wurden täglich von Kot und sonstigen Schmutz-partikeln gereinigt. Einmal wöchentlich wurden die Abfluß-rohre und -rinnen geputzt, um eine Rückstauung zu vermeiden.

Der Tag - Nacht-Rhythmus war durch eine automatische Beleuchtungsregelung konstant auf 16 : 8 h eingestellt.

Die nachfolgenden Tabellen erläutern Analysenwerte des Wassers.

Tabelle 8. DURCHSCHNITTICHE ANGABEN DER MÜNCHENER WASSERWERKE

	$\bar{x}$	x_{min}	x_{max}
pH	7.44	7.25	7.60
Ca (mg/l)	79.4		
Mg (mg/l)	22.2		
Gesamthärte (°d)	16.2		
Karbonathärte (°d)	15.0	14.1	15.8

1°d = 10 mg CaO/l

Tabelle 9. EIGENE WASSERUNTERSUCHUNGEN

	Versuch I $\bar{x}$	Versuch IIa $\bar{x}$	Versuch IIb $\bar{x}$
pH	7.5	7.5	7.5
O ₂ (ppm)	9.8	8.6	9.8
Zufluß (l/min)	0.5	0.5	0.5
Temperatur (°C)	14.1	11.3	10.5

3.1.4. FUTTER UND FÜTTERUNG

3.1.4.1. FUTTERZUSAMMENSETZUNG

Als Grundlage für die Rationen (1)-(10) wurden Aminosäurevormischungen hergestellt, die für Versuch I kein Lysin, kein Arginin und kein Tryptophan, und für Versuch II kein Methionin und kein Cystein enthielten. Die fehlenden Aminosäuren wurden den einzelnen Rationen in verschiedenen Konzentrationen nach Versuchsplan zugemischt. Dabei wurde eine geringere Aminosäurezugabe durch eine entsprechend höhere Glutaminsäurezugabe kompensiert.

Daneben enthielten alle Rationen 15 % Rotbarschöl als Fettquelle, 2 % Cellulose, 5.15 % Mineralstoff und Spurenelemente und 0.6 % Vitaminvormischung. 0.3 % Ca-Propionat (Luprosil, BASF, Ludwigshafen) wurden zugesetzt um einem Schimmelpilzbefall des Futters vorzubeugen.

Tabelle 10. BASALE AMINOSÄURENMISCHUNGEN OHNE LYSIN, TRYPTOPHAN
UND ARGININ, BZW. OHNE METHIONIN UND CYSTEIN

Aminosäuren	g/100g	% v. RP	% RP d. Anhydrids
Histidin·HCl·H ₂ O	0.78	2.22	63.88
Tyrosin	1.00	3.85	53.69
Phenylalanin	1.46	5.60	59.50
Methionin ¹⁾	0.75	2.90	66.74
Cystein ¹⁾	0.42	1.10	84.90
Threonin	1.06	4.08	86.61
Leucin	2.44	9.40	77.39
Isoleucin	1.18	4.54	77.39
Valin	1.56	6.00	88.33
Glycin	2.25	8.65	153.48
Prolin	1.44	5.54	90.17
Arginin·HCl ²⁾	1.26	4.00	112.13
Tryptophan ²⁾	0.13	0.50	47.03
Lysin·HCl ²⁾	1.34	4.20	136.63
Glutaminsäure ³⁾	12.05	47.89	67.82

1) nicht zugesetzt in Versuch II

2) " " in Versuch I

3) 63.27 % vom RP in Versuch II

Tabelle 11. SPURENELEMENTVORMISCHUNG

Substanzen	mg/1.5g
Fe (aus Eisenfumarat)	150.0
Zn (aus Zinkacetat)	120.0
Mn (aus Mangansulfat · H ₂ O)	120.0
Cu (aus Kupferacetat · H ₂ O)	18.0
I (aus Kaliumiodid)	3.75
Co (aus Kobaltsulfat · 7H ₂ O)	1.5
Se (aus Natriumselenit · 5H ₂ O)	0.75
F (aus Natriumfluorid)	7.5
Mg (aus Magnesiumoxid)	105.0

Tabelle 12. VITAMINVORMISCHUNG

Vitamin	mg/kg Futter
Retinol	9.0
Cholecalciferol	0.066
α-DL-Tocopherolacetat	72.0
Menadion	2.4
Thiamin	10.8
Riboflavin	14.4
Pyridoxin	6.0
Cobalamin	0.06
Biotin	0.18
Folsäure	0.36
Ca-Pantothenat	36.0
Nicotinsäure	108.0
Cholin	900.0
Ascorbinsäure	180.0

Tabelle 13. RATIONSZUSAMMENSETZUNG (g/100g)

VERSUCH I

- 25 -

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
AS-basal	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40	26.40
Arginin·HCl	0.63	0.63	1.89	1.89	2.52	1.89	1.89	1.26	1.26	1.26
Tryptophan	0.13	0.26	0.13	0.26	0.36	0.26	0.20	0.26	0.20	0.13
Lysin·HCl	1.37	1.37	1.37	1.37	0.46	0.46	1.37	1.37	1.37	1.37
Glutaminsäure	4.80	4.72	3.09	3.00	3.62	4.47	3.06	3.87	3.91	3.95
Rotbarschöl	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Cellulose	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Flocculante	43.78	43.72	44.22	44.18	43.74	43.62	44.19	43.80	43.96	43.90
Ca-Propionat	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Spurenelement- vormischung	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Vitaminvor- mischung	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
KCl	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
CaHPO ₄ · 2H ₂ O	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
Na ₂ HPO ₄ · H ₂ O	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
K ₂ HPO ₄	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
CaCO ₃	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
MgO	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
RP-Gesamt	23.6	23.6	25.5	24.7	25.2	24.7	24.6	24.1	24.1	24.1
Arg % v.RP	2.2	2.2	6.1	6.3	8.2	6.3	6.3	4.3	4.3	4.3
Lys % v.RP	4.6	4.6	4.3	4.4	1.4	1.5	4.4	4.5	4.5	4.5
Try % v.RP	0.6	1.1	0.5	1.1	1.0	1.1	0.8	1.1	0.8	0.5

Tabelle 14. RATIONSZUSAMMENSETZUNG (g/100g) VERSUCH II

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
AS-basal	27.95	27.95	27.95	27.95	27.95	27.95	27.95	27.95	27.95	27.95
Methionin	0.75	1.04	0.78	0.52	0.26	-	0.59	0.20	0.98	0.33
Cystein	0.42	-	0.38	0.76	1.14	1.52	0.29	0.86	0.48	1.43
Glutaminsäure	4.00	4.25	4.03	3.81	3.59	3.37	4.32	4.00	3.71	3.17
Rotbarschöl	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Cellulose	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Flocculante	43.98	43.86	43.96	44.06	44.16	44.26	43.95	44.45	43.98	44.22
Ca-Propionat	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Spurenelement- vormischung Vitaminvor- mischung	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
KCl	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
CaHPO ₄ · 2H ₂ O	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
Na ₂ HPO ₄ · H ₂ O	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
K ₂ HPO ₄	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
CaCO ₃	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
MgO	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
RP-Gesamt	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Met % v.RP	3.1	4.3	3.3	2.2	1.1	-	2.5	0.8	4.1	1.4
Cys % v.RP	1.8	-	1.6	3.2	4.8	6.3	1.2	3.6	2.0	6.0
% v. RP aus gesamt S-AS	4.9	4.3	4.9	5.4	5.9	6.3	3.7	4.2	6.1	7.4

3.1.4.2. Fütterung

Für jedes Becken wurde einmal täglich eine individuelle Futtermenge abgewogen, die je nach Versuchsperiode 1 %, 2 % oder 1.5 % der Lebendmasse ausmachte. Diese wurde regelmäßig in 14 tägigem Abstand bestimmt. Die abgewogene Menge wurde etwa zu gleichen Teilen morgens und abends bzw. morgens, mittags und abends bei Versuch II verfüttert. Dabei wurde versucht durch möglichst langsame Futterzuteilung eine quantitative Aufnahme zu erreichen. An den Wiegetagen wurde nicht gefüttert. Bei eintretenden Verzehrsdepressionen wurde die Futtermenge generell reduziert, bei Fischverlusten wurden die verendeten Tiere gewogen, vom Gewicht wurde eine erwartete Zunahme bis zum Todestag seit der letzten Wiegung abgezogen, und dieses korrigierte Gewicht von der Lebendmasse des Beckens abgezogen. Danach konnte die prozentuale Futterzuteilung neu berechnet werden. Zur Berechnung der erwarteten Gewichtszunahme wurden die Werte für die tägliche Lebendmassezunahme der vorhergehenden Versuchsperiode (14 Tage) zugrunde gelegt.

3.1.4.2.1. Versuch I

Während der 11-tägigen Eingewöhnungszeit (Vorperiode) vom 15.3.1984 bis 26.3.1984 wurden die Fische zweimal täglich mit handelsüblichem Forellenfutter (Fa. Plange, Wangen) gefüttert. Sie erhielten in dieser Zeit täglich 1 % ihrer Lebendmasse Futter. Von Beginn der Hauptperiode am 26.3.1984 bis 14.4.1984 wurden täglich 2 % der Lebendmasse pro Becken der Rationen (1)-(10) verfüttert. Die eintretende Verzehrsdepression machte dann eine Reduktion der Futtermenge auf

1.5 % der Lebendmasse bei allen Rationen nötig. Diese Futtermenge wurde beibehalten bis zum Versuchsende am 6.6.1984, und weiter bis zur Schlachtung am 12.6.1984. An diesem Tag wurde nur morgens gefüttert. Grundsätzlich wurde nicht verfüttertes Futter rückgewogen, die korrigierten Mengenangaben wurden zur Berechnung des Futterverzehrs herangezogen.

Tabelle 15. FUTTERUNGSNIVEAU VERSUCH I

Versuchstag	Futtermenge pro Tag (% der Lebendmasse)	
1. (W)	./.	
2. -14.	2.0 Versuchsfutter	
15. (W)	./.	
16.-20.	2.0	" "
21.-28.	1.5	" "
29. (W)	./.	
30.-42.	1.5	" "
43. (W)	./.	
44.-56.	1.5	" "
57. (W)	./.	
58.-62.	1.5	" "
63. (EW)	./.	

3.1.4.2.2. Versuch II

Im Gegensatz zu Versuch I wurde in den Versuchen IIa und IIb dreimal täglich gefüttert und zwar während der beiden Vorperioden 2.5 % der Lebendmasse in Versuch IIa und 1.5 % der Lebendmasse in Versuch IIb handelsübliches Forellenfutter wie in Versuch I. Für die Berechnung der Futterverzehrsmengen wurden wieder durch Rückwagen korrigierte Mengenangaben zugrunde gelegt.

Tabelle 16. FÜTTERUNGNIVEAU VERSUCH IIA

Versuchstag	Futtermenge pro Tag (% der Lebendmasse)
-------------	--

1. (W)	./.
2. -14.	2.5 Versuchsfutter
15. (W)	./.
16.-28.	2.5 " "
29. (W)	./.
30.-36.	2.0 " "
37.-42.	1.5 " "
43. (W)	./.
44.-56.	1.0 " "
57. (EW)	./.

Tabelle 17. FÜTTERUNGSNIVEAU VERSUCH IIB

Versuchstag	Futtermenge pro Tag (% der Lebendmasse)
-------------	--

1 . (W)	./.
2. -14.	2.0 Versuchsfutter
15. (W)	./.
16.-28.	1.5 " "
29. (W)	./.
30.-42.	1.25 " "
43. (W)	./.
44.-56.	1.0 " "
57. (W)	./.
58.-70.	1.0 " "
71. (W)	./.
72.-84.	1.0 " "
85. (EW)	./.

3.1.5. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

3.1.5.1. Versuch I

Zu Beginn der Vorperiode wurden in alle 40 Aquarien je 20 Forellen eingesetzt, wobei darauf geachtet wurde, die mittlere Lebendmasse pro Beckenbesatz annähernd gleich zu halten; sie betrug am 15.3.1984 307.1 g, das entspricht einer durchschnittlichen Lebendmasse von 15.4 g pro Tier. Nach der 11- tägigen Vorperiode hatte sich das durchschnittliche Einzelfischgewicht auf 18.5 g erhöht.

Da für 10 Rationen 40 Becken zur Verfügung standen, konnten die 4 Wiederholungen pro Rationsgruppe räumlich gleichmäßig verteilt werden.

Tabelle 18. VERTEILUNG DER RATIONSGRUPPEN IM RAUM
VERSUCH I

Rationen	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Aquarien	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
	36	37	38	39	40					

Die Tiere wurden jeden 14ten Tag gewogen (Wiegegenauigkeit 0.1 g). Die Endwiegung erfolgte nach 10 Wochen und 2 Tagen, am 6.6.1984.

Am darauf folgenden Tag wurden aus den Becken 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 16, 17, 18, 19, 20 - also entsprechend den Rationen (1)-(7) - jeweils 3 Fische entnommen und zum Institut für Zoologie und Hydrobiologie der tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München gebracht. Dort wurden die Tiere betäubt, getötet, gewogen und ihre Länge gemessen. Danach wurde die Sektion vorgenommen, wobei besonders auf eventuelle Leberveränderungen geachtet wurde.

3.1.5.2. Versuch IIa

Am 22.6.1984 wurden in 20 Becken der Glasaquarienanlage je 45 Forellen eingesetzt, dabei betrug die mittlere Lebendmasse pro Becken 135,7 g bei einem durchschnittlichen Einzelfischgewicht von 3,0 g. Dieses hatte sich nach der 12-tägigen Vorperiode auf 3,9 g (durchschnittliche Lebendmasse pro Becken : 173,3 g) erhöht. Aufschluß über die Verteilung der Rationsgruppen im Raum gibt Tabelle 19.

Tabelle 19. VERTEILUNG DER RATIONSGRUPPEN IM RAUM
VERSUCH IIA

Rationen	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Aquarien	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31

3.1.5.3. Versuch IIB

Am 16.1.1985 wurden 20 Becken der Anlage mit je 13 bzw. 12 Fischen besetzt. Die mittlere Lebendmasse pro Becken betrug 248.0 g bei einem mittleren Einzelfischgewicht von 19.3 g. Nach der 14-tägigen Vorperiode war das durchschnittliche Gewicht pro Tier auf 25.0 g (durchschnittliche Lebendmasse pro Becken : 316.8 g) gestiegen. Die Verteilung der einzelnen Rationsgruppen im Raum erfolgte zufällig und ist aus Tabelle 20 ersichtlich.

Tabelle 19. VERTEILUNG DER RATIONSGRUPPEN IM RAUM
VERSUCH IIB

Rationen	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Aquarien	28	21	23	27	32	34	37	31	22	24
	30	35	26	29	36	40	39	33	38	25

Die Tiere wurden während der Hauptperiode in 14-tägigem Abstand 7 mal gewogen, wobei die Endwiegung nach 12 Wochen Hauptperiode am 24.4.1985 stattfand.

3.1.6. VERSUCHSAUSWERTUNG

Die wichtigsten Meßergebnisse in bezug auf die Versuchsauswertung waren die Gewichtszunahmen, sowohl absolut als auch relativ als spezifische Wachstumsrate, und die Futterverwertung, daneben die rationsabhängigen pathologischen Leberveränderungen.

Bei Fischverlusten während des Versuchsverlaufs wurden die Berechnungen der Lebendmassezunahme folgendermaßen korrigiert: die Gewichtszunahme des verendeten Tieres bis zum Todestag wurde anhand der täglichen Gewichtszunahme des entsprechenden Beckens in der vorhergehenden Versuchsperiode berechnet. Diese Zunahme wurde vom Gewicht am Todestag abgezogen und das so korrigierte Körpergewicht vom Gesamtgewicht des Beckens zum Zeitpunkt der letzten Wiegung abgezogen. Verluste sind in den Tabellen 21 bis 23 aufgeführt.

Tabelle 21. FISCHVERLUSTE VERSUCH I

Rationen	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1.-2.Woche	-	1	2	-	1	1	2	2	1	-
3.-4. "	1	-	-	1	5	2	-	2	-	1
5.-6. "	2	1	-	-	2	5	1	2	2	8
7.-8. "	3	4	3	3	24	7	2	2	2	7
9.- VE	14	8	4	4	13	12	4	3	4	9
insgesamt	20	14	9	8	45	27	9	11	9	25
in %	25	18	11	10	56	34	11	14	11	31

Tabelle 22. FISCHVERLUSTE VERSUCH IIA

Rationen	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1.-2.Woche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.-4. "	1	-	-	-	-	3	1	1	2	-
5.-6. "	-	1	-	3	-	5	2	14	1	-
7.-8. "	2	5	-	11	1	1	2	8	9	2
insgesamt	3	6	-	14	1	9	5	23	12	2
in %	3	7	0	16	1	10	6	26	13	2

Tabelle 23. FISCHVERLUSTE VERSUCH IIB

Rationen	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1.-2. Woche	4	5	5	4	2	4	6	3	4	5
3.-4. "	-	1	2	-	2	1	1	1	1	-
5.-6. "	-	1	-	-	1	-	1	2	-	-
7.-8. "	1	1	3	2	2	2	-	1	1	5
9.-10. "	2	1	1	-	-	2	-	4	-	1
11.-12."	2	2	1	1	4	1	1	2	2	1
insgesamt	9	11	12	7	11	10	9	13	8	12
in %	36	42	48	27	44	38	35	50	31	46

3.1.6.1. PARAMETER

WACHSTUM

Die Werte werden sowohl absolut als Lebendmassezunahme (LMZ) in g pro Fisch, als auch relativ als spezifische Wachstumsrate angegeben. Sie wird nach folgender Formel berechnet

$$W_t = W_0 (1 + \alpha/100)^t$$

$$\alpha = (\sqrt[t]{W_t/W_0} - 1) \times 100$$

W_t = Lebendmasse zum Zeitpunkt t

W_0 = Lebendmasse am Tag der letzten Wiegung vor Zeitpunkt t

t = Zeit in Tagen

α = spezifische Wachstumsrate

FUTTERVERZEHR (FVZ)

Der Futterverzehr wird in g Futter pro Tier über den definierten Zeitraum einer Versuchsperiode angegeben.

FUTTERVERWERTUNG (FVW)

Die Futterverwertung errechnet sich aus der Lebendmassezunahme in g pro kg aufgenommenes Futter.

$$\text{FVW} = \frac{\text{Zunahme (g)}}{\text{Futterverzehr (kg)}}$$

3.2. ERGEBNISSE

3.2.1. VERSUCH I

Die Endergebnisse nach 10 Wochen und 2 Tagen Hauptperiode werden durch die Tabellen 24, 25 und 26, sowie durch die Abb.1 erläutert.

Sowohl bei der LMZ als auch der Wachstumsrate lieferten die Gruppen (8) - 4.3 % Arg, 4.5 % Lys, 1.1 % Try -, (4) - 6.3 % Arg, 4.4 % Lys, 1.1 % Try -, (7) - 6.3 % Arg, 4.4 % Lys, 0.8 % Try - und (9) - 4.3 % Arg, 4.5 % Lys, 0.8 % Try - die besten Ergebnisse.

Auch bei der Meßung der FVW lieferten die Rationen (8), (4), (7) und (9) die besten Ergebnisse.

Die schlechtesten Meßwerte für Wachstumsrate, FVW und LMZ zeigten die Rationsgruppen (5) - 8.2 % Arg, 1.4 % Lys, 1.0 % Try -, (10) - 4.3 % Arg, 4.5 % Lys, 0.5 % Try - und (1) - 2.2 % Arg, 4.6 % Lys, 0.6 % Try.

Die Lysin Mangelgruppen (5) und (6) fielen auch durch die höchsten Verluste (56 bzw. 34 %) auf. Ein Arg-Überschuß hat dabei offensichtlich das Lysindefizit verschärft.

Die morphologischen Untersuchungen von je 12 Fischen der Rationen (1)-(7) zeigten bei den Gruppen, die sich durch gute LMZ, FVW und Wachstumsraten auszeichneten ((4) und (7)), sowohl ein höheres Verhältnis von Körpergewicht zu Körperlänge im Vergleich zu den Mangelrationen, als auch ein prozentual stark erhöhtes Lebergewicht. Farbe und Konsistenz der Lebern bei diesen Gruppen waren so verändert, daß man aufgrund der makroskopischen Untersuchung auf Lebererkrankungen im Sinne einer fettigen Degeneration schließen könnte. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 26 aufgeführt.

Tabelle 24. 10-WOCHEN-ERGEBNISSE VERSUCH I
in Klammern: Spannweite R

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
RP-Gesamt	23.6	23.6	25.5	24.7	25.2	24.7	24.6	24.1	24.1	24.1
Arg % v.RP	2.2	2.2	6.1	6.3	8.2	6.3	6.3	4.3	4.3	4.3
Lys % v.RP	4.6	4.6	4.3	4.4	1.4	1.5	4.4	4.5	4.5	4.5
Try % v.RP	0.6	1.0	0.5	1.1	1.0	1.1	0.8	1.1	0.8	0.5
n	60	66	71	72	35	53	71	69	71	55
LM/Fisch (g)										
VB	18.5 (1.8)	19.0 (0.7)	19.1 (2.2)	18.5 (0.8)	18.2 (1.1)	18.2 (0.6)	18.5 (0.6)	18.1 (0.6)	18.6 (1.7)	18.4 (2.0)
LMZ/Fisch (g)	2.9 (1.1)	5.3 (4.0)	5.0 (4.5)	7.7 (1.8)	1.8 (2.1)	3.4 (5.8)	9.4 (4.0)	10.0 (5.2)	7.2 (5.1)	2.3 (4.5)
α	0.20 (0.09)	0.34 (0.24)	0.32 (0.29)	0.48 (0.09)	0.13 (0.15)	0.24 (0.37)	0.57 (0.18)	0.61 (0.28)	0.46 (0.26)	0.16 (0.29)
FVZ (g)	21.9 (2.3)	23.3 (1.6)	22.7 (1.8)	23.1 (3.3)	20.6 (1.6)	21.8 (3.0)	23.9 (3.0)	23.3 (3.6)	22.8 (4.6)	20.9 (3.0)
FVW (g Zu- nahme/kg FVZ)	131 (55)	229 (179)	221 (208)	333 (68)	85 (96)	154 (256)	393 (114)	424 (183)	314 (161)	106 (197)
Verluste in %	25	18	11	10	56	34	11	14	11	31

Abb.1 LMZ im Versuchsverlauf
Versuch I

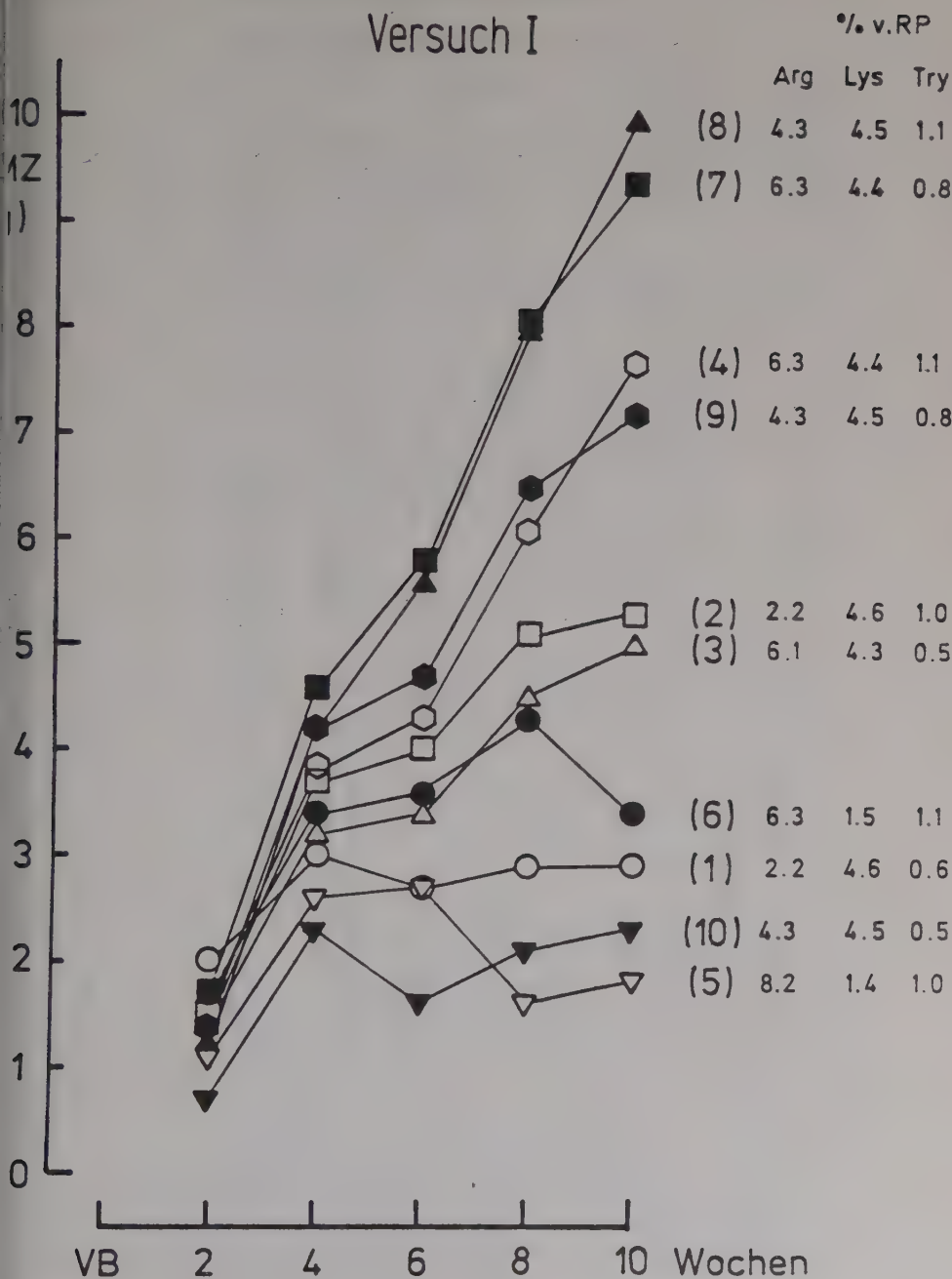


Tabelle 25. VERHALTEN VON α - VERSUCH I
in Klammern: Spannweite R

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1. - 2. Woche	0.69 (0.66)	0.55 (0.40)	0.50 (0.58)	0.50 (0.61)	0.42 (0.40)	0.65 (0.32)	0.62 (0.97)	0.46 (0.83)	0.49 (0.59)	0.25 (0.47)
3. - 4. "	0.28 (0.50)	0.62 (0.59)	0.61 (0.33)	0.82 (0.26)	0.53 (0.52)	0.58 (0.33)	0.94 (0.43)	1.03 (0.46)	0.96 (0.50)	0.56 (0.65)
5. - 6. "	-0.08 (0.31)	0.12 (0.49)	0.06 (0.29)	0.20 (0.54)	0.04 (0.40)	0.05 (0.86)	0.37 (0.32)	0.42 (0.57)	0.13 (0.58)	-0.22 (1.00)
7. - 8. "	0.05 (0.13)	0.30 (0.73)	0.34 (0.80)	0.51 (0.61)	-0.40 (0.84)	0.20 (0.52)	0.64 (0.32)	0.68 (0.27)	0.52 (0.19)	0.17 (0.37)
9. - 10. "	0.03 (0.68)	0.07 (0.43)	0.15 (0.65)	0.46 (0.51)	0.11 (0.60)	-0.29 (0.90)	0.36 (0.49)	0.53 (0.13)	0.24 (0.70)	0.05 (0.46)

Tabelle 26. MORPHOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN - VERSUCH I
(Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung)

Ration	(1)	(2)		(3)		(4)		(5)		(6)		(7)	
		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
n		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Körpergewicht (g)		21.87 ± 2.99	26.88 ± 2.56	24.86 ± 2.14	28.84 ± 2.31	17.88 ± 0.74	22.06 ± 0.37	30.81 ± 2.15					
Fischlänge (cm)		12.7 ± 0.4	13.2 ± 0.4	13.0 ± 0.4	13.4 ± 0.4	12.0 ± 0.2	12.6 ± 0.3	13.9 ± 0.4					
Lebergewicht (g)		0.88 ± 0.16	1.74 ± 0.31	1.26 ± 0.13	2.57 ± 0.31	0.73 ± 0.06	1.37 ± 0.19	2.71 ± 0.35					
Lebergewicht (% v. KG)		3.89 ± 0.46	6.25 ± 0.69	5.22 ± 0.49	8.75 ± 0.61	4.09 ± 0.32	6.05 ± 0.66	8.56 ± 0.70					
Farbe	rosa	hellrosa	rosa	beige	rosa	hellrosa	beige	rosa	hellrosa	beige			
Konsistenz	derb	derb	derb	brüchig	derb	derb	brüchig	derb	derb	brüchig			

3.2.2. VERSUCH IIA

Die Tabellen 27 und 28, sowie Abb.2 erläutern die End-
ergebnisse des Versuchs IIA.

Sowohl in bezug auf FVW als auch auf Wachstumsrate und die
LMZ schnitten die Rationen (10) - 1.4 % Met, 6.0 % Cys -, (5)
- 1.1 % Met, 4.8 % Cys - und (3) - 3.3 % Met, 1.6 % Cys - am
besten ab.

Die Rationsgruppen (2) - 4.2 % Met, 0 % Cys -, (4) - 2.2 %
Met, 3.2 % Cys -, (7) - 2.5 % Met, 1.2 % Cys - und (1) - 3.1
% Met, 1.8 % Cys - lagen mit ihren Werten gleichmäßig im
mittleren Ergebnisbereich.

Die schlechtesten Resultate waren für die Gruppen (6) -
0 % Met, 6.3 % Cys -, (8) - 0.8 % Met, 3.6 % Cys - und (9) -
4.1 % Met, 2.0 % Cys - zu verzeichnen. Sie fielen auch durch
eine hohe Verlustrate (10, 26 und 13 %) auf.

Tabelle 27. 8-WOCHEN-ERGEBNISSE VERSUCH IIA

in Klammern Einzelmeßwerte

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
RP-Gesamt	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Met % v.RP	3.1	4.3	3.3	2.2	1.1	-	2.5	0.8	4.1	1.4
Cys % v.RP	1.8	-	1.6	3.2	4.8	6.3	1.2	3.6	2.0	6.0
n	85	81	88	72	87	78	82	62	75	86
LM/Fisch (g)										
VB	4.01 (3.99; 4.02)	3.96 (3.80; 4.11)	3.92 (3.79; 4.05)	3.89 (3.80; 3.97)	3.87 (4.03; 3.71)	3.82 (3.90; 3.74)	4.15 (4.33; 3.96)	4.00 (4.01; 3.99)	3.84 (3.86; 3.81)	3.94 (3.77; 4.11)
LMZ/Fisch (g)	1.37 (1.14; 1.60)	1.24 (1.24; 1.24)	1.87 (1.90; 1.83)	1.29 (1.05; 1.53)	2.22 (2.26; 2.18)	0.16 (0.23; 0.09)	1.56 (1.68; 1.44)	1.11 (1.66; 0.55)	0.92 (1.25; 0.58)	2.15 (2.40; 1.90)
α	0.53 (0.45; 0.60)	0.49 (0.51; 0.47)	0.70 (0.73; 0.67)	0.51 (0.44; 0.58)	0.81 (0.80; 0.83)	0.07 (0.10; 0.04)	0.57 (0.59; 0.56)	0.44 (0.26; 0.23)	0.38 (0.50; 0.25)	0.78 (0.88; 0.68)
FVZ (g)	4.82 (4.78; 4.85)	4.64 (4.45; 4.82)	4.77 (4.64; 4.90)	4.60 (4.47; 4.73)	4.90 (5.08; 4.71)	3.97 (4.08; 3.85)	4.98 (5.23; 4.72)	4.75 (4.78; 4.72)	4.48 (4.77; 4.19)	4.90 (4.80; 5.00)
FVW (g Zu- nahme/kg FVZ)	284 (238; 330)	268 (279; 257)	391 (403; 373)	279 (235; 323)	454 (445; 463)	40 (56; 23)	313 (321; 305)	232 (347; 116)	200 (262; 138)	440 (500; 380)
Verluste in %	3	7	0	16	1	10	6	26	13	2

Abb.2 LMZ im Versuchsverlauf
Versuch IIa

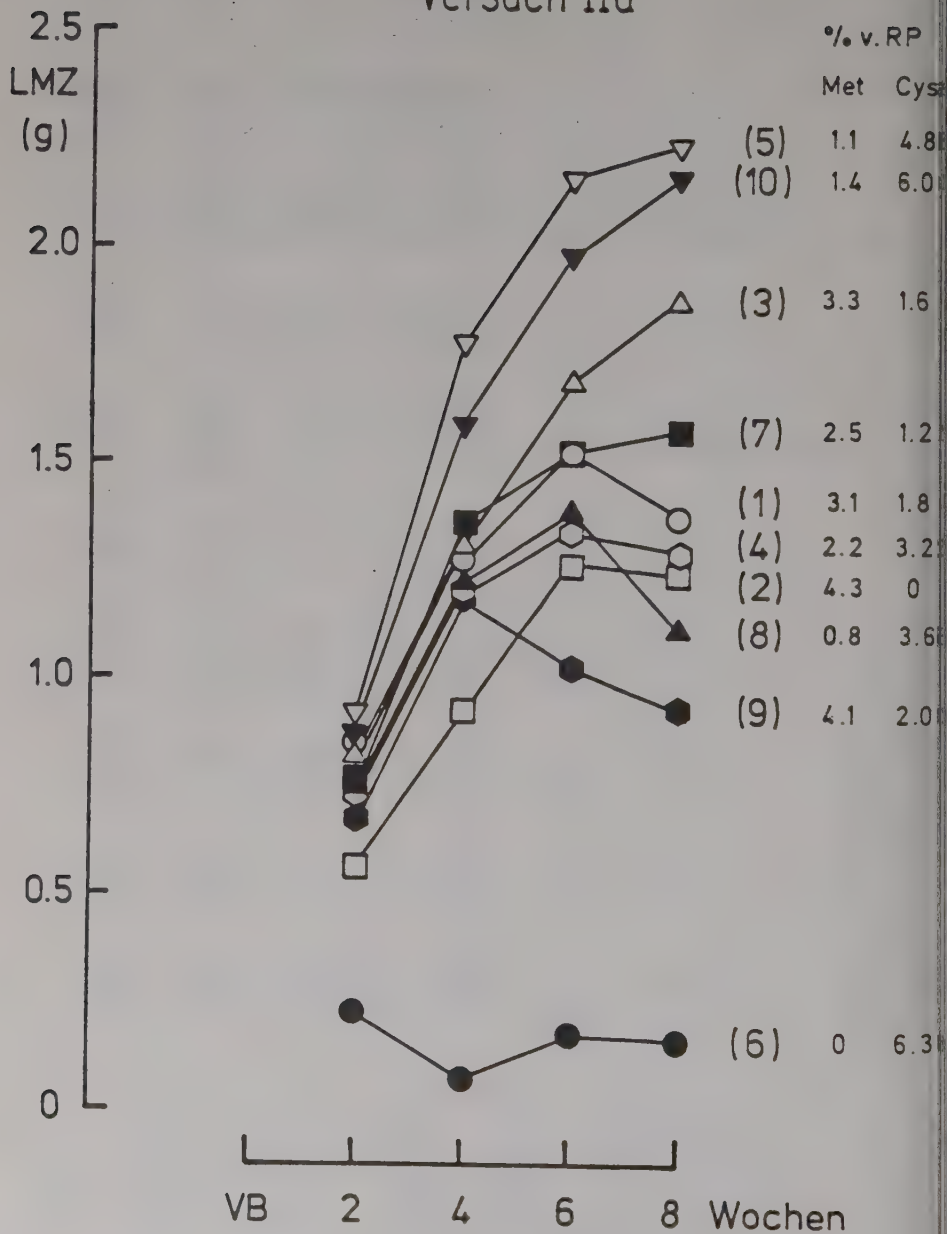


Tabelle 28. VERHALTEN VON α - VERSUCH IIA
in Klammern: Einzelmeßwerte

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1. - 2. Woche	1.38 (1.36; 1.39)	1.14 (1.12; 1.17)	1.38 (1.39; 1.36)	1.21 (1.18; 1.24)	1.55 (1.57; 1.52)	0.39 (0.41; 0.37)	1.21 (1.33; 1.08)	1.23 (1.32; 1.13)	1.13 (1.70; 0.56)	1.43 (1.63; 1.22)
3. - 4. "	0.60 (0.67; 0.52)	0.35 (0.08; 0.61)	0.69 (0.75; 0.63)	0.72 (0.82; 0.62)	1.18 (1.08; 1.28)	-0.09 (0.02; -0.20)	0.82 (0.79; 0.85)	0.68 (0.71; 0.65)	0.78 (0.82; 0.73)	1.01 (0.95; 1.07)
5. - 6. "	0.33 (0.20; 0.46)	0.50 (0.86; 0.13)	0.50 (0.46; 0.54)	0.19 (-0.04; 0.42)	0.46 (0.50; 0.42)	0.02 (-0.10; 0.13)	0.22 (0.21; 0.23)	0.33 (0.09; 0.37)	-0.23 (-0.35; -0.11)	0.49 (0.54; 0.43)
7. - 8. "	-0.19 (-0.42; 0.03)	-0.03 (-0.03; -0.03)	0.23 (0.31; 0.15)	-0.07 (-0.20; 0.05)	0.09 (0.06; 0.11)	-0.02 (0.09; -0.13)	0.05 (0.02; 0.07)	-0.42 (0.36; -1.21)	-0.16 (-0.15; -0.16)	0.22 (0.42; 0.01)

3.2.3. VERSUCH IIB

Aus den nachfolgenden Tabellen 29, 30 und 31, sowie aus Abb.3 sind die Ergebnisse des Versuchs IIB nach 8 bzw. 12 Wochen Hauptperiode ersichtlich.

Die Rationsgruppen (10) - 1.4 % Met, 6.0 % Cys -, (3) - 3.3 % Met, 1.6 % Cys - und (1) - 3.1 % Met, 1.8 % Cys - lieferten nach 12 Wochen die besten Ergebnisse für FVW und LMZ. Dieselben Gruppen waren auch bei den 8 Wochenenergebnissen der LMZ und der Wachstumsrate α (zusammen mit Versuchsgruppe (5) - 1.1 % Met, 4.8 % Cys -) führend.

Beste Ergebnisse für die FVW nach 8 Wochen Hauptperiode zeigten die Gruppen (3) - 3.3 % Met, 1.6 % Cys -, (5) - 1.1 % Met, 4.8 % Cys - und (10) - 1.4 % Met, 6.0 % Cys -. Hier stimmen also die Ergebnisse mit Versuch IIA überein.

Für alle Meßpunkte gleich ist das schlechte Abschneiden der Rationsgruppe (6) - 0 % Met, 6.3 % Cys -.

Tabelle 29. 8-WOCHEN-ERGEBNISSE VERSUCH IIB

in Klammern: Einzelmeßwerte

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
RP-Gesamt	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Met % v.RP	3.1	4.3	3.3	2.2	1.1	-	2.5	0.8	4.1	1.4
Cys % v.RP	1.8	-	1.6	3.2	4.8	6.3	1.2	3.6	2.0	6.0
n	20	18	15	20	18	18	18	19	20	16
LM/Fisch (g)										
VB	25.3 (24.2; 26.4)	24.4 (24.2; 24.6)	24.7 (24.3; 25.1)	24.5 (23.9; 25.1)	25.2 (24.3; 26.0)	26.4 (26.8; 26.0)	25.0 (25.7; 24.2)	24.5 (25.0; 23.9)	25.8 (26.1; 25.4)	24.5 (24.8; 24.1)
LMZ/Fisch (g)	4.4 (4.3; 4.5)	3.4 (5.0; 1.8)	4.4 (4.1; 4.6)	4.0 (2.9; 5.1)	4.3 (5.5; 3.0)	-0.7 (-0.3; -1.1)	3.9 (4.9; 2.9)	2.2 (1.0; 3.4)	3.4 (4.6; 2.2)	4.4 (3.4; 5.3)
α	0.29 (0.29; 0.28)	0.24 (0.34; 0.13)	0.30 (0.29; 0.30)	0.27 (0.20; 0.33)	0.29 (0.37; 0.20)	0.00 (0.00; 0.00)	0.26 (0.31; 0.20)	0.15 (0.07; 0.23)	0.22 (0.29; 0.15)	0.30 (0.23; 0.36)
FVZ (g)	11.58 (11.04; 12.11)	10.63 (10.43; 10.83)	10.41 (10.27; 10.55)	9.85 (9.68; 10.01)	11.27 (11.51; 11.03)	10.24 (10.71; 9.76)	11.88 (11.01; 12.74)	10.11 (9.99; 10.21)	9.56 (9.34; 9.78)	9.83 (9.98; 9.67)
FVW (g Zu- nahme/kg FVZ)	381 (389; 372)	323 (479; 166)	418 (399; 436)	405 (300; 509)	375 (478; 272)	0 (0; 0)	337 (445; 228)	217 (100; 333)	359 (493; 225)	445 (341; 548)
Verluste in %	20	30	40	23	28	27	31	27	23	38

Tabelle 30. 12-WOCHEN-ERGEBNISSE VERSUCH IIB
in Klammern: Einzelmeßwerte

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
RP-Gesamt	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Met % v.RP	3.1	4.3	3.3	2.2	1.1	-	2.5	0.8	4.1	1.4
Cys % v.RP	1.8	-	1.6	3.2	4.8	6.3	1.2	3.6	2.0	6.0
n	16	15	13	19	14	15	17	13	18	14
LM/Fisch (g)										
VB	25.3 (24.2; 26.4)	24.4 (24.2; 24.6)	24.7 (24.3; 25.1)	24.5 (23.9; 25.1)	25.2 (24.3; 26.0)	26.4 (26.8; 26.0)	25.0 (25.7; 24.2)	24.5 (25.0; 23.9)	25.8 (26.1; 25.4)	24.5 (24.8; 24.1)
LMZ/Fisch (g)	7.5 (9.4; 5.6)	2.4 (5.2; -0.4)	6.0 (5.8; 6.2)	5.4 (3.7; 7.0)	4.0 (6.4; 1.5)	-0.3 (0.2; -0.8)	4.4 (5.7; 3.1)	4.7 (4.0; 5.4)	3.3 (4.5; 2.0)	6.1 (5.6; 6.6)
α	0.31 (0.39; 0.23)	0.12 (0.23; 0.00)	0.26 (0.26; 0.26)	0.23 (0.17; 0.29)	0.18 (0.28; 0.07)	0.00 (0.01; 0.00)	0.19 (0.24; 0.14)	0.21 (0.18; 0.24)	0.14 (0.19; 0.09)	0.26 (0.24; 0.28)
FWZ (g)	19.24 (19.05; 19.43)	16.66 (16.60; 16.71)	17.49 (17.44; 17.53)	16.19 (15.54; 16.84)	18.33 (18.80; 17.86)	16.17 (16.89; 15.44)	18.51 (17.63; 19.38)	17.28 (16.60; 17.95)	16.05 (16.60; 15.49)	16.77 (17.03; 16.50)
FWW (g Zu- nahme/kg FWZ)	391 (493; 288)	157 (313; 0)	344 (333; 354)	327 (238; 416)	212 (340; 84)	6 (12; 0)	242 (323; 160)	271 (241; 301)	200 (271; 129)	365 (323; 400)
Verluste in %	36	42	48	27	44	38	35	50	31	46

Abb.3 LMZ im Versuchsverlauf
Versuch IIb

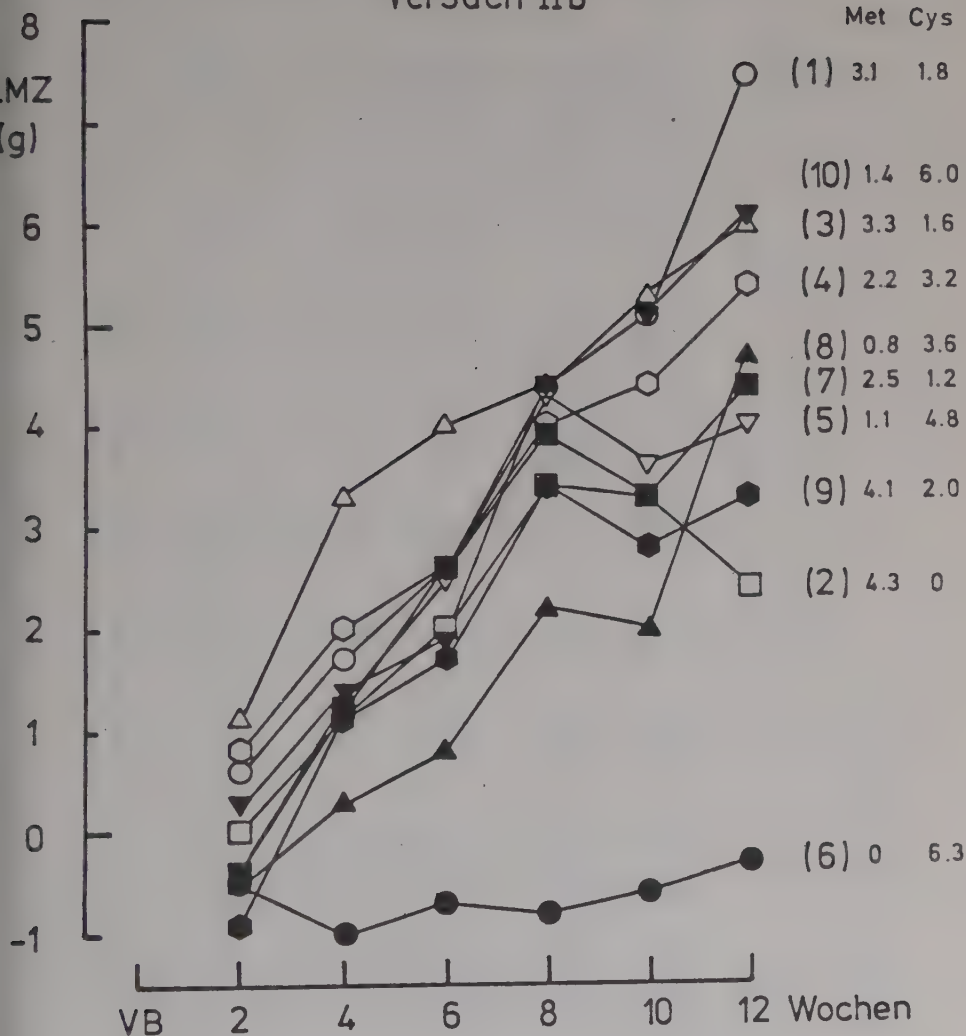


Tabelle 31. VERHALTEN VON α - VERSUCH IIB

in Klammern: Einzelmeßwerte

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1. - 2. Woche	0.18 (0.20; 0.16)	0.0 (0.18; -0.18)	0.30 (0.34; 0.25)	0.23 (0.21; 0.25)	-0.11 (0.09; -0.31)	-0.14 (-0.35; 0.08)	-0.11 (0.06; -0.27)	-0.15 (-0.23; -0.06)	-0.24 (-0.08; -0.40)	0.07 (0.17; -0.03)
3. - 4. "	0.36 (0.28; 0.43)	0.31 (0.39; 0.23)	0.60 (0.62; 0.58)	0.40 (0.37; 0.43)	0.47 (0.31; 0.63)	-0.13 (0.17; -0.42)	0.44 (0.38; 0.50)	0.22 (0.03; 0.41)	0.54 (0.64; 0.43)	0.33 (0.28; 0.38)
5. - 6. "	0.23 (0.16; 0.29)	0.24 (0.19; 0.28)	0.18 (0.35; 0.00)	0.17 (0.16; 0.18)	0.31 (0.35; 0.26)	0.08 (0.05; 0.11)	0.36 (0.46; 0.25)	0.16 (0.09; 0.22)	0.16 (0.25; 0.06)	0.14 (-0.08; 0.36)
7. - 8. "	0.45 (0.52; 0.37)	0.38 (0.59; 0.16)	0.09 (-0.20; 0.37)	0.36 (0.24; 0.47)	0.46 (0.71; 0.20)	0.05 (0.21; -0.11)	0.34 (0.36; 0.32)	0.39 (0.40; 0.38)	0.42 (0.36; 0.48)	0.63 (0.55; 0.71)
9. - 10. "	0.16 (0.30; 0.02)	-0.02 (-0.02; -0.03)	0.22 (0.37; 0.07)	0.10 (0.21; -0.02)	-0.16 (-0.02; -0.30)	0.05 (-0.11; 0.20)	-0.15 (-0.07; -0.24)	-0.07 (0.24; -0.38)	-0.15 (-0.36; 0.05)	0.18 (0.37; -0.02)
11. - 12. "	0.56 (0.89; 0.22)	-0.26 (0.07; -0.59)	0.18 (0.05; 0.30)	0.23 (0.00; 0.46)	0.08 (0.24; -0.08)	0.07 (0.24; -0.11)	0.29 (0.28; 0.29)	0.71 (0.53; 0.88)	0.02 (0.14; -0.10)	0.25 (0.17; 0.33)

Tabelle 32. RANGFOLGE DER RATIONSGRUPPEN VON VERSUCH II

	Rangziffer	Versuch IIa	Versuch IIb 8 Wochen	Versuch IIb 12 Wochen
α	1	5		1
	2	10	3, 10	
	3	3	5, 1	3, 10
	4	7		4
	5	1	4	8
	6	4	7	7
	7	2	2	5
	8	8	9	9
	9	9	8	2
	10	6	6	6
FVW	1	10	3	3
	2	5	5	10
	3	3	10	1
	4	9	2	5
	5	2	1	8
	6	4	4	2
	7	7	9	4
	8	8	7	7
	9	1	8	9
	10	6	6	6

4. DISKUSSION

4.1. VERGLEICHE MIT VORANGEGANGENEN UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN LYSIN-, ARGININ- UND TRYPTOPHANBEDARF

4.1.1. Schätzung des Lysinbedarfs

1982 ermittelte STRAUSS in einem 8-wöchigen Versuch (+ 1 Woche Vorperiode) mit Hilfe einer Diät, die bei 26 % Rohprotein ausschließlich Aminosäuren als Proteinquelle aufwies, einen Lysinbedarf von 4.1 bis 4.3 % vom Rohprotein.

In den eigenen Untersuchungen wurden für Lysin 2 Gehaltsgruppen eingesetzt: 1.4 bzw. 1.5 % und 4.3 bis 4.6 % vom Rohprotein. Die Gruppen, die geringere Lysingehalte im Futter erhielten, fielen in den Versuchs-kriterien ab der sechsten Versuchswoche merklich hinter die anderen Gruppen zurück. Bis zum Versuchsende manifestierte sich dieser Abfall noch deutlicher. Auffällig war vor allem bei diesen Gruppen das geringe Wachstum und die hohe Mortalität (56 bzw. 34 %).

Die 8-Wochenergebnisse von STRAUSS konnten daher auch über 10 Wochen unter ähnlichen Bedingungen bestätigt werden.

Die Versuchsgruppen (5) und (6) erhielten jeweils 1.4 bzw. 1.5 % Lysin bei unterschiedlicher Arginin-Zufuhr (8.2 bzw. 6.3 % vom Rohprotein). Die Kombination von 1.4 % Lysin mit 8.2 % Arginin erzielte die schlechtesten Ergebnisse, was einen Lysin-Arginin-Antagonismus, wie er beim Geflügel bekannt ist, vermuten läßt, obwohl eine derartige Interaktion von ROBINSON et al. (1981) bestritten wird.

4.1.2. Schätzung des Argininbedarfs

FRANK erhielt 1984 optimale Wachstumswerte für Rationen die 2.0 % vom Rohprotein Arginin enthielten. Dies steht im Gegensatz zu bisher angegebenen Bedarfswerten (HALVER; MERTZ: 6.0 % v. RP und OGINO: 3.8 % v. RP).

Die Ergebnisse von FRANK konnten nach dem eigenen 10-wöchigen Versuch, dessen Bedingungen den dort angegebenen entsprach, nicht bestätigt werden.

Bei Rationen, die 2.2 % vom Rohprotein Arginin enthielten, lagen die Meßwerte stets im mittleren bis schlechten Bereich. Dagegen erzielten Rationen mit 4.3 % vom Rohprotein Arginin gleichmäßig gute Meßergebnisse. Bei Steigerung des Arginin-gehalts auf 6.1 bzw. 8.2 % vom Rohprotein waren die Fütterungserfolge wieder deutlich rückläufig. Die Ergebnisse stimmen gut überein mit den von KAUSHIK (1979) angegebenen Bedarfswerten (1.8 % der Diät bzw. 4.3 bis 4.7 % vom Rohprotein).

Es kann also davon ausgegangen werden, daß ein Gehalt von mindestens 4.0 % Arginin im Rohprotein nötig ist, um optimales Wachstum zu erzielen. Gleichzeitig sollte aber ein Gehalt von 6 % vom Rohprotein nicht erreicht werden.

4.1.3. Schätzung des Tryptophanbedarfs

Mit ihren Ergebnissen über den Tryptophanbedarf der Regenbogenforelle lag FRANK (1984) im Bereich der bekannten Bedarfsangaben von etwa 0.5 % vom Rohprotein (HALVER, 1965: 0.5 % v. RP; OGINO, 1980: 0.5 % v. RP; WALTON et al., 1984: 0.45 % v. RP).

Wiederum in Anlehnung an FRANKs Versuche wurden Tryptophankonzentrationen von 0.5 bis 1.1 % vom Rohprotein untersucht, wobei jedoch beste Meßwerte bei den Versuchsgruppen mit Tryptophangehalten von 0.8 bis 1.1 % vom Rohprotein erzielt wurden. Diese Diskrepanz kann methodisch bedingt sein, und ist möglicherweise auf einen nicht optimal eingestellten Gehalt an einzelnen Aminosäuren zurückzuführen.

4.2. UNTERSUCHUNGEN DES SCHWEFELAMINOSÄURENBEDARFS

- SCHÄTZUNG DES METHIONIN UND CYSTEINBEDARFS

In Versuch IIa wurden Forellen mit einer durchschnittlichen Lebendmasse von 4 g eingesetzt, dagegen waren die Tiere in Versuch IIb etwa 25 g schwer.

Höhere Absolutwerte für Wachstumsrate und Futterverwertung bei den jüngeren Fischen sind nicht überraschend. Daneben liegt die Sterblichkeitsrate für die kleineren Tiere von Versuch IIa mit 8.4 % weit unter dem vergleichbaren 8-Wochenwert von 28.7 % für die größeren Tiere von Versuch IIb, der bis Versuchsende auf 39.7 % anstieg. Die Meßergebnisse der beiden Versuche waren gut vergleichbar.

Die Erfahrungen von STRAUSS und FRANK zeigten jedoch, daß Untersuchungen zur Bedarfsermittlung von Aminosäuren möglichst länger als 8 Wochen durchgeführt werden sollten. Dies kann durch die eigenen Ermittlungen bestätigt werden, denn für die Gruppen (2) - 4.3 % Met, 0 % Cys - und (5) - 1.1 % Met, 4.8 % Cys - zeigen sich in Versuch IIb erst gegen Versuchsende deutliche Leistungsminderungen. Aus den Gewichtsabnahmen der Gruppe (2) ab der 9. Versuchswoche kann möglicherweise geschlossen werden, daß bei dieser Gruppe die Methionintoleranz längerfristig überschritten wurde. Hinweise auf eine begrenzte Methionintoleranz finden sich bei NOSE (1974).

In diesem Zusammenhang müssen auch die Ermittlungen von FRANK (1984) über den Zusatz von Schwefelaminosäuren zu Caseindiäten erwähnt werden. In diesen Untersuchungen waren Rationen mit 4 % Cystein-Zusatz zum Caseinprotein einem gleich hohen Methionin-Zusatz deutlich überlegen. Auch zu diesen Angaben besteht eine gute Übereinstimmung mit den eigenen Ergebnissen, da hier bei Methioningehalten, die 4 % vom Rohprotein überschreiten, ebenfalls Wachstumsdepressionen beobachtet werden.

Aus einer Zusammenfassung der beiden Versuche ergibt sich, daß die besten Meßergebnisse für Rationen erzielt wurden, die bei 1.1 bis 1.4 % Methionin und 4.8 bis 6.0 % Cystein einen Gesamt-Schwefelaminosäuregehalt von 5.9 bis 7.4 % vom Rohprotein enthielten.

Dabei ist mit Sicherheit der Methioningehalt als entscheidender Faktor anzusehen, denn einerseits führt eine Erhöhung über 4.0 % Methionin im Rohprotein zu einer Verschlechterung der Ergebnisse und andererseits kann eine Ration mit zu niedrigem Methioningehalt auch durch einen hohen Cysteingehalt nicht aufge bessert werden. Dagegen kann in Rationen mit genügend hohen Methioningehalten dann völlig auf Cystein verzichtet werden, wenn keine optimalen Wachstumsraten angestrebt werden. Diese Resultate weisen Methionin als essen tiell aus, nicht dagegen Cystein. Eine Kombination von Methionin und Cystein ist jedoch erforderlich, um optimales Wachstum zu erreichen. Festzuhalten ist, daß offensichtlich Cystein aus Methionin gebildet werden kann wie dies bereits RUMSEY et al. (1983) aus den Ergebnissen ihrer Untersuchungen schlossen.

Aus den Ergebnissen der Gruppen (1) - 3.1 % Met, 1.8 % Cys -, (3) - 3.3 % Met, 1.6 % Cys -, (5) - 1.1 % Met, 4.8 % Cys - und (10) - 1.4 % Met, 6.0 % Cys - darf geschlossen werden, daß ein Mindestgehalt von 1 % Methionin nicht unterschritten werden soll, wobei das Methionin-Cystein Verhältnis zwischen 1:3 bis 3:1 variieren kann und die Methioninkonzentration 3 % erreichen darf.

Völlig im Widerspruch zu bisher bekannten Bedarfsangaben für Regenbogenforellen (OGINO: 1.8 % Methionin und 0.9 % Cystin - zusammen 2.7 % Schwefelaminosäuren im Rohprotein; RUMSEY et al.: 1.6 - 2.1 % Methionin und 0.9 % Cystin - zusammen 2.5 - 3.0 % Gesamt-Schwefelaminosäuren im Rohprotein) stehen die hier ermittelten Werte von 5.9 bis 7.4 % Schwefelaminosäuren im Rohprotein (Methionin-Cystein-Verhältnis: 1:3). Das entspricht einem Gehalt von 1.1 bis 1.4 % vom Rohprotein Methionin und 4.8 bis 6.0 % Cystein.

Dieser Unterschied ist wahrscheinlich methodisch bedingt und nur durch Interaktionen mit anderen Aminosäuren, die nicht in optimalen Konzentrationen angeboten wurden, zu erklären.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Um weitere Anhaltspunkte zur Abschätzung des Bedarfs an Lysin, Arginin, Tryptophan, Methionin und Cystein zu erhalten, wurden 3 Versuche an insgesamt 1957 Regenbogenforellen von 10, 8 bzw. 12 Wochen Dauer durchgeführt.

Die Futtermischungen enthielten als einzige Proteinquelle (ca. 24 % Rohprotein) eine Mischung kristalliner Aminosäuren (Ausnahme DL-Methionin), welche die Einstellung beliebiger einzelner Aminosäuren-Kombinationen ohne Veränderung anderer Aminosäuren erlaubte.

Als Versuchskriterien dienten Wachstum, Futterverwertung und Mortalität.

Lysin wurde ebenso wie Methionin als essentielle Aminosäure bestätigt. Der Lysinbedarf dürfte anhand der Ergebnisse des ersten Versuchs 4.3 bis 4.6 % vom Rohprotein nicht überschreiten. Der Argininbedarf kann auf 4.3 % vom Rohprotein geschätzt werden. Es liegen auch Hinweise auf einen Lysin-Arginin-Antagonismus bei Regenbogenforellen vor.

Überraschend hoch sind die Konzentrationen von Tryptophan (0.8 bis 1.1 % vom Rohprotein) und von Gesamt-Schwefelaminosäuren (mindestens 6.0 % vom Rohprotein), bei denen bestes Wachstum gemessen werden konnte. Möglicherweise sind die extrem hohen Werte für Tryptophan und die Schwefelaminosäuren Folge von Interaktionen mit anderen essentiellen Aminosäuren, deren Gehalte im Futter noch nicht optimal eingestellt waren. Methionin sollte 1.1 bis 1.4 % nicht unter-, und 4 % nicht überschreiten. Cystein ist offensichtlich besser verträglich als Methionin.

5.1. SUMMARY

STUDIES TO EVALUATE THE REQUIREMENT OF RAINBOW TROUT (*SALMO GAIIRDNERI* RICHARDSON) FOR THE AMINO ACIDS LYSINE, ARGININE, TRYPTOPHANE, METHIONINE AND CYSTINE.

On a total of 1957 rainbow trouts, three experiments, lasting 10, 8 and 12 weeks, were performed in order to obtain more reliable information for an estimation of the requirements for lysine, arginine, tryptophane, methionine and cystine.

The purified diets contained a mixture of free amino acids as sole source of protein (about 24 % crude protein, $N \times 6.25$), allowing the optional variation of single amino acids, without changing the total amino acid pattern.

Experimental criteria were growth, food conversion and mortality.

The essentiality of lysine, as well as of methionine was confirmed. Referring to the results of the first experiment, the lysine requirement seems not to exceed 4.3 - 4.6 % of crude protein. The arginine requirement was considered to be 4.3 % of crude protein. There are also indications for a lysine-arginine-antagonism in rainbow trout.

The concentrations of tryptophane (0.8 - 1.1 % of crude protein) and of sulphur amino acids (at least 6 % of crude protein) with which best growth was obtained, were surprisingly high.

The extremely high values for tryptophane and for the sulphur amino acids may be due to interactions with other essential amino acids, which were not optimally balanced.

The methionine concentration should reach at least 1.1 - 1.4 % but not exceed 4.0 % of crude protein. Obviously, cystine is less harmful in higher concentrations than methionine.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1. ALBRECHT, M.L. und WUNSCH, J. (1972)
Der Gehalt an Aminosäuren in Protein niedriger Wassertiere
und dessen Bedeutung für die Fischernährung.
Arch. Tierernährung 22: 423
2. BALDWIN, N.S. (1957)
Food consumption and growth of brook trout at different
temperatures.
Trans. Am. Fish. Soc. 87: 323
3. BLACK, I. (1986)
Endogene N-Verluste über den Hautschleim von Regenbogen-
forellen (*Salmo gairdneri* Richardson).
Diss. Med. Vet. Universität München
4. CHANCE, R.E. (1962)
Free amino acids and related compounds in the plasma of
Chinook-Salmon and swine.
Ph. D. Thesis, Purdue University, Indiana USA
5. COWEY, C.B., ADRON, J. und BLAIR, A. (1970)
Studies on the nutrition of marine flatfish. The essential
amino acid requirements of plaice and sole.
J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 50: 87
6. DE LONG, D.C., HALVER, J.E. und MERTZ, E.T. (1958)
zitiert nach MERTZ, E.T., (1972)
J. Nutr. 65: 589

7. FRANK, B. (1984)

Untersuchungen über den Arginin- und Tryptophanbedarf der Regenbogenforelle (*Salmo gairdneri* Richardson) mit Hilfe gereinigter Diäten.

Diss. Med. Vet. Universität München

8. GRAYTON, B.D. und BEAMISH, F.W.H. (1977)

Effects of feeding frequency on food intake, growth and body composition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*).

Aquaculture 11: 159

9. GROPP, J. (1982)

Ernährung von Süßwasserfischen in Intensivhaltung.

In: Zucht und Produktion von Süßwasserfischen, ed. M. Bohl, Verlagsunion Agrar, S. 65

10. GROPP, J. (1986)

Grundlagen und Konzepte zur Forellenernährung.

In: Aktuelle Themen der Tierernährung und Veredelungswirtschaft (Zusammenfassung der Vorträge der wissenschaftlichen Tagung vom 13. und 14. Nov. 1985) Lohmann Tierernährung GmbH, Cuxhaven. S. 31

11. GROPP, J., KOOPS, H., TIEWS, K. und BECK, H. (1979)

Replacement of fish meal in trout feeds by other feedstuffs.

In: Adv. Aquacult., eds. PILLAY, DILL, Fishing News Books Ltd. Farnham, Surrey, England. S. 596

12. GROPP, J., SCHWALB-BUHLING, A., KOOPS, H. und TIEWS, K.
(1982b)
On the protein-sparing effect of dietary lipids in pellet
feeds for rainbow trout (*Salmo gairdneri*).
Arch. f. Fischereiwissenschaft 33: 79
13. HALVER, J.E. (1957)
Nutrition of salmonid fishes IV. An amino acid test diet
for chinook salmon.
J. Nutr. 62: 245
14. HALVER, J.E. (1965)
Tryptophane requirements of chinook, sockeye and silver
salmon.
Vet. Proc. 24: 229
15. HALVER, J.E. (1970b)
Cold-water fish nutrition requirements.
Resour. Publ. U.S. Bur. Sport Fish. Wildl. 102: 141
16. HALVER, J.E., BATES, L.S. und MERTZ, E.T. (1964)
zitiert nach SCHULZ, D., HARTFIELD, W. und GREUEL, E. (1981)
Z. Tierphysiol. Tierernährg. u. Futtermittelkde. 45(5): 252
Fed. Proc. 23: 1778
17. HALVER, J.E., DE LONG, D.L. und MERTZ, E.T. (1957)
Nutrition of salmonoid fishes V. Classification of
essential amino acids for chinook salmon.
J. Nutr. 63: 95

18. SALVEY, J. S., DE LONG, D. J. and WRIGHT, B. T. (1966)
Metabolic and dietary requirements of chinook salmon.
See page 15, 1976
19. BLOUSEK, W., WITLIEB, A., CASIDA, G. and JAMORA, S. (1977)
The influence of high dietary fat levels on protein
utilization by the trout *Salmo gairdneri*.
Comp. Biochem. Physiol. 55A: 37-41
20. KAYSER, S. (1978)
Application of a biochemical method for the estimation of
amino acid needs in fish: quantitative analysis
requirements of rainbow trout in different salinities.
In: Fishes Nutr. and Fishes Technology I, eds. J. S.
SALVEY and J. TIGGS. Scotland: The Macmillan Press
for Fisheries S. 197
21. KAYSER, S. and LUGST, P. (1977)
Study of free amino acids in rainbow trout in relation to
salinity changes. Blood free amino acids during
starvation.
Ann. Hydrobiol. 2: 135
22. LEE, D. J. and PUTNAM, G. B. (1973)
The response of rainbow trout to varying protein-energy
ratios in a test diet.
J. Nutr. 133: 916
23. WRIGHT, B. T. (1971)
The protein and amino acid needs
In: Fish Nutrition, eds. J. E. HALVER, Acad. Press, New
York, London. S. 135

24. MESKE, C.E. (1973)

Aquakultur von Warmwasserartzifischen.

Ed. Eugen Ulmer, Stuttgart, 3

25. OGINO, C. (1980)

Requirement of carp and rainbow trout for essential amino acids.

Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 46(2): 171

26. PENTALOW, F.T.K. (1939)

The relation between growth and food consumption in the brook trout (*S. trutta*).

J. Exp. Biol. 16: 446

27. PFEFFER, E. und POTTHAST, V. (1977)

Untersuchungen über den Absatz von Energie, Protein und mineralischen Mengenelementen bei wachsenden Regenbogenforellen.

Portachr. Tierphysiol. Tierernahrung 2: 32

28. REINITZ, G.L. und NITZEL, V. (1980)

Formulation of practical diets for rainbow trout, based on desired performance and body composition.

Aquaculture 12: 242

29. REINITZ, G.L., SMITH, L.R., LEMM, C.A. and NITZEL, V. (1978a)

Influence of varying lipid concentrations with two protein concentrations in diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*).

Trans. Am. Fish. Soc. 107(5): 751

30. REITER, M. (1984)
Rasteruntersuchungen über die Verbesserung gereinigter
Diäten für Forellen (*Salmo gairdneri*).
Diss. Med. Vet. Universität München
31. ROBINSON, E.H., WILSON, R.P. und POE, W.E. (1981)
Arginine requirement and apparent absence of a lysine-
arginine-antagonism in fingerling channel catfish
J. Nutr. 111: 46
32. ROSE, W.C. (1931)
Feeding experiments with mixtures of highly purified amino
acids. The inadequacy of diets containing nineteen amino
acids.
J. Biol. Chem. 94: 155
33. RUMSEY, G.L., PAGE, J.W. und SCOTT, M.L. (1983)
Methionine and cystine requirements of rainbow trout.
Proc. Fish.-Cult. 45(3): 139
34. SATIA, B.P. (1974)
zitiert nach SCHULZ, D., HARTFIELD, W. und GREUEL, E. (1981)
Z. Tierphysiol. Tierernährg u. Futtermittelkde. 45(5): 252
Prog. Fish. Cult. 36(2): 80
35. SCHLISIO, W. und NICOLAI, B. (1977)
Kinetic investigations on the behaviour of free amino acids
in the plasma and of two amino transferases in the liver
of rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) after feeding
on a synthetic composition containing pure amino acids.
Comp. Biochem. and Phys. B. 59(4): 373

36. SCHWALB-BÜHLING, Ä. (1982)
Stoffwechselphysiologische Untersuchungen an Regenbogenforellen (*Salmo gairdneri* Richardson) unter besonderer Berücksichtigung der Ausnutzung von Futterenergie.
Diss. Biol. Universität Hamburg
37. SCHWARZBACH, W. (1981)
Untersuchungen zur Verdaubarkeit von Rohprotein und Futtermenge in Abhängigkeit von Wassertemperatur und Fütterungsniveau bei Regenbogenforellen (*Salmo gairdneri* Richardson).
Dipl. Biol. Universität Hamburg
38. STRAUSS, J. (1982)
Studien zum Lysinbedarf von Regenbogenforellen (*Salmo gairdneri* Richardson) mit Hilfe gereinigter Diäten.
Diss. Med. Vet. Universität München
39. TAKEUCHI, T., WATANABE, T. und OGNIO, C. (1978)
Optimum ratio of protein to lipid in diets of rainbow trout.
Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 44(6): 663
40. TIEWS, J., GROPP, J., KOOPS, H. und TIEWS, K. (1972)
Über die Gestaltung von Mischfütterationen für Forellen in der Netzkäfighaltung.
Z. Tierphysiol. Tierernährg. u. Futtermittelkde. 29: 267

41. TIEWS, K., KOOPS, H., GROPP, J. und TIEWS, J. (1973)
Über die Körperzusammensetzung netzkäfiggehaltener
Forellen (*Salmo gairdneri* Richardson) in Abhängigkeit von
Fütterung und Wachstum.
Arch. f. Fischereiwissenschaft 24(1-3): 261
42. WALTON, M.J., COLOSO, R.M., COWEY, C.B., ADRON, J.W. und
KNOX, D. (1984)
The effects of dietary tryptophan levels on growth and
metabolism of rainbow trout (*Salmo gairdneri*).
Br. J. Nutr. 51: 279
43. WATANABE, T. (1977)
Sparing action of lipids on dietary protein in fish-low
protein diet with high caloric content.
Technocrat. 10(8): 34

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. J. Gropp für die Überlassung des Themas und für seine freundliche Unterstützung bei der Planung und Auswertung der Experimente herzlich danken.

Mein Dank gilt ebenso Herrn Dr. K.-H. Sternik für die freundliche Hilfe bei der Versuchsdurchführung.

Bei Herrn Prof. Dr. R. Hoffmann und seinen Mitarbeitern bedanke ich mich für die umfangreichen Organuntersuchungen.

Für ihre Hilfsbereitschaft bei der Betreuung der Versuchstiere möchte ich mich herzlich bei den Mitarbeitern der Abteilung Oberwiesenfeld bedanken.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei Frau G. Heiß für die Hilfe bei den umfangreichen Schreibarbeiten bedanken.

LEBENS LAUF

Name	Sabine Langbein, geb. Mayer
10.4.1958	geboren in München als einzige Tochter von Anton und Inge Mayer, geb. Kulzer
1964-1968	Volksschule an der Ittlingerstraße, München
1968-1977	Sophie-Scholl-Gymnasium, München
Mai 1977	Abitur
1977-1979	Ausbildung zur chemisch-technischen Assistentin an der Chemieschule Dr. E. Elhardt, München
1979-1981	beschäftigt am Institut für Pharmakologie und Toxikologie der TU München
Mai-Nov. 1981	beschäftigt am Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried
Nov. 1981	Beginn des Studiums der Tiermedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität München
Feb. 1986	Eheschließung mit Volker Langbein
Okt. 1986	Geburt meines Sohnes Michael
Nov. 1986	Abschluß des Staatsexamens

